

# Method and apparatus for regenerating a NOx storage catalyst

Publication number: EP1209332

Publication date: 2002-05-29

Inventor: HAHN HERMANN (DE); POTT EKKEHARD (DE);  
HINZE SOEREN (DE)

Applicant: VOLKSWAGEN AG (DE)

Classification:

- international: F01N3/08; F02D41/02; F01N7/02; F01N3/08;  
F02D41/02; F01N7/00; (IPC1-7): F02D41/02; F01N3/08;  
F02D41/14

- european: F01N3/08B2; F01N3/08B10; F02D41/02C4D1

Application number: EP20010250407 20011121

Priority number(s): DE20001057936 20001122; DE20001057938 20001122

Also published as:

EP1209332 (A3)

Cited documents:

JP8014031  
DE19844082  
EP0940570  
DE19915793  
EP0997626  
more >>

Report a data error here

## Abstract of EP1209332

Process for regenerating a NOx storage catalyst (18) arranged in the exhaust gas channel (14) of a lean-burn I.C. engine comprises extrapolating an oxygen-dependent signal from an oxygen-sensitive measuring device (20) during NOx regeneration; and varying an air-fuel ratio (combustion lambda) fed to the engine during regeneration depending on the extrapolated signal with consideration of a time spread corresponding to an exhaust gas running time between the engine and the catalyst. An Independent claim is also included for a device for regenerating a NOx storage catalyst arranged in the exhaust gas channel of a lean-burn I.C. engine. Preferred Features: The end of the regeneration is determined whilst a time spread corresponding to an exhaust gas running time between the engine and the catalyst is considered. The combustion lambda of the engine peaks at a value which is larger than a prescribed combustion lambda value and 1.

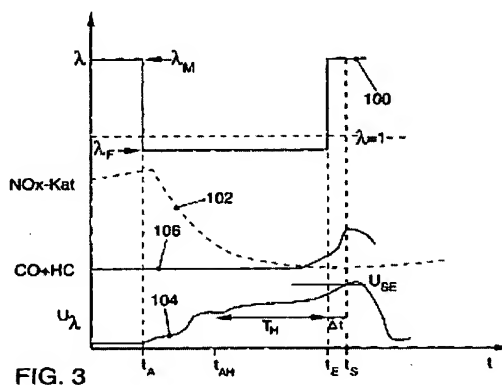


FIG. 3

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 209 332 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
29.05.2002 Patentblatt 2002/22

(51) Int Cl.7: F01N 3/20, F02D 41/14

(21) Anmeldenummer: 01250407.2

(22) Anmeldetag: 21.11.2001

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI(72) Erfinder:  
• Hahn, Hermann  
30175 Hannover (DE)  
• Pott, Ekkehard  
38518 Gifhorn (DE)  
• Hinze, Sören  
D-38102 Braunschweig (DE)(30) Priorität: 22.11.2000 DE 10057936  
22.11.2000 DE 10057938(71) Anmelder: Volkswagen Aktiengesellschaft  
38436 Wolfsburg (DE)(74) Vertreter: Schneider, Henry, Dipl.-Ing.  
Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider  
Schützenstrasse 15-17  
10117 Berlin (DE)(54) Verfahren und Vorrichtungen zur Regeneration eines NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators

(57) Die Erfindung betrifft Verfahren zur NO<sub>x</sub>-Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlaufähigen Verbrennungskraftmaschine angeordneten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators, wobei der NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer Abgasatmosphäre mit  $\lambda \leq 1$  beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, sowie Vorrichtungen zur Regeneration eines NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators.

Es ist vorgesehen, dass während der NO<sub>x</sub>-Regeneration das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) der Messeinrichtung (20) hochgerechnet wird und auf Basis des

hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt ( $t_E$ ) bestimmt wird, an dem ein vorgegebener Signalschwellenwert ( $U_{SE}$ ) überschritten wird, und das Regenerationsende ( $t_E$ ) bestimmt wird, indem eine im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (18) entsprechende Zeitspanne ( $\Delta t$ ) von dem theoretischen Zeitpunkt ( $t_E$ ) subtrahiert wird. Weiterhin ist vorgesehen, ein Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit ( $\Delta t$ ) zu variieren.

Die erfindungsgemäßen Maßnahmen gewährleisten eine weitgehende Unterdrückung von Schadstoffemissionen am Ende einer Regeneration. Zudem kann eine Gesamtdauer der Regeneration verkürzt werden.

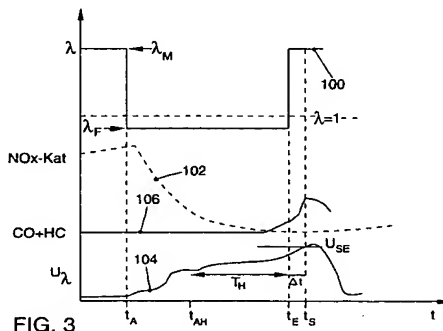


FIG. 3

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft Verfahren zur Durchführung einer Regeneration eines  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators in einem Abgasstrang einer Verbrennungskraftmaschine sowie Vorrichtungen zur Durchführung der Regeneration mit den in den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche 1 bis 3 beziehungsweise 20 oder 21 genannten Merkmalen.

**[0002]** Verbrennungskraftmaschinen, die aus Gründen einer Verbrauchsoptimierung wenigstens zeitweise in einem mageren Betriebsmodus, das heißt mit einem sauerstoffreichen Abgas mit  $\lambda > 1$ , betrieben werden, produzieren Stickoxide  $\text{NO}_x$  in einem stöchiometrischen Überschuss. Dies hat zur Folge, dass bei einer katalytischen oxidativen Umsetzung von unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC und Kohlenmonoxid CO Stickoxide  $\text{NO}_x$  nicht vollständig zu umweltneutralem Stickstoff umgesetzt werden. Zur Abhilfe ist bekannt,  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysatoren in den Abgaskanälen von Verbrennungskraftmaschinen anzuordnen, die in mageren Betriebsphasen das  $\text{NO}_x$  als Nitrat einlagern. Um  $\text{NO}_x$ -Durchbrüche aufgrund eines vollbeladenen  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators zu vermeiden, muss der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator in wiederkehrenden Abständen regeneriert werden. Zu diesem Zweck wird die Verbrennungskraftmaschine kurzfristig in einen fetten oder stöchiometrischen Arbeitsmodus ( $\lambda \leq 1$ ) umgeschaltet. Infolgedessen steigt ein Reduktionsmittelmassenstrom des Abgases an, die als Nitrat eingelagerten Stickoxide werden desorbiert und katalytisch am  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator unter gleichzeitiger Oxidation von CO und HC umgesetzt.

**[0003]** In einfachen Verfahren wird eine Regenerationsdauer, während der der Speicherkatalysator mit der fetten Abgasatmosphäre beaufschlagt wird, fest vorgegeben. Nachteilig hieran ist, dass ein tatsächlicher Beladungszustand des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators und eine aktuelle Regenerationsrate desselben nicht berücksichtigt wird. Eine solche Vorgehensweise birgt die Gefahr, dass die Regenerationsdauer zu kurz oder zu lang gewählt wird, wobei im ersten Fall eine unvollständige Regeneration des Speichers und im zweiten Fall ein unnötiger Kraftstoffmehrerverbrauch sowie eine Emission umweltschädlicher Reduktionsmittel (HC und CO) in Kauf genommen wird. Verfeinerte Verfahren versuchen einen tatsächlichen Beladungszustand des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators anhand bestimmter Betriebsparameter während der letzten Magerphase abzuschätzen und leiten hieraus eine erforderliche Regenerationsdauer ab. Jedoch ist auch dieses Verfahren mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet, so dass sich auch hier unzuverlässige  $\text{NO}_x$ -Regenerationsdauern mit den genannten Folgen ergeben können.

**[0004]** Des Weiteren sind Verfahren bekannt, bei denen mit Hilfe einer stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators angeordneten Sensorik, die einen Sauerstoffanteil des Abgases misst, der Regenerationsverlauf über-

wacht wird. Dabei zeigt ein sinkender Sauerstoffanteil im Abgas einen verminderten Reduktionsmittelumsatz am  $\text{NO}_x$ -Speicher und somit steigende Anteile der Reduktionsmittel im Abgas an. Um Reduktionsmitteldurchbrüche zu vermeiden, wird die  $\text{NO}_x$ -Regeneration abgebrochen, das heißt die Verbrennungskraftmaschine wieder in einen mageren Betriebsmodus umgeschaltet, sobald der gemessene Sauerstoffanteil einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet beziehungsweise eine Sensorspannung eine entsprechende Grenzspannung überschreitet. Dieses Verfahren ist mit dem Nachteil verbunden, dass der Sensor erst reagieren kann, wenn bereits ein gewisser Reduktionsmitteldurchbruch auftritt. Ferner ist zum Zeitpunkt der Grenzwertüberreichung der gesamte Abgasweg zwischen Verbrennungskraftmaschine und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator noch mit fettem, das heißt reduktionsmittelhaltigem, Abgas gefüllt. Diese Reduktionsmittel (HC und CO) gelangen dann weitgehend unkonvertiert als Schadstoffe in die Umwelt. Um diese Schadstoffemission gering zu halten, darf gemäß dieser Vorgehensweise das Verbrennungslambda während der Regeneration nicht zu fett eingeregelt werden. Dies führt zusätzlich zu dem Nachteil verhältnismäßig langer Regenerationsdauern und einem unnötigen Kraftstoffmehrerverbrauch.

**[0005]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur  $\text{NO}_x$ -Regeneration eines  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators zur Verfügung zu stellen, welches hinsichtlich einer möglichst geringen Reduktionsmittelemission optimiert ist und gleichzeitig eine vollständige Regeneration des Speicherkatalysators gewährleistet. In einem weiteren Aspekt soll ein möglichst schneller Ablauf des Verfahrens, das heißt kurze Regenerationsdauern, sichergestellt werden. Es soll ferner eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete und vorteilhafte Vorrichtung bereitgestellt werden.

**[0006]** Diese Aufgabe wird durch Verfahren mit den in den unabhängigen Ansprüchen 1, 2 und 3 genannten Merkmalen gelöst. Geeignete Vorrichtungen sind durch die in den unabhängigen Ansprüchen 20 und 21 genannten Merkmale gekennzeichnet.

**[0007]** Gemäß einem ersten erfindungsgemäßen Verfahren ist vorgesehen, dass

(a) während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal der stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators angeordneten Messeinrichtung hochgerechnet wird,

(b) auf Basis des hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt bestimmt wird, an dem ein vorgegebener Signalschwellenwert voraussichtlich überschritten wird, und

(c) das Regenerationsende bestimmt wird, indem eine im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator entsprechende Zeitspanne von dem theo-

retischen Zeitpunkt subtrahiert wird.

**[0008]** Indem also das Signal der Messeinrichtung hochgerechnet wird, kann mit einer ausreichenden Zuverlässigkeit das Erreichen des vorgegebenen Schwellenwertes im Voraus ermittelt werden. Dies ermöglicht die Berücksichtigung der der Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator entsprechenden Zeitspanne - nachfolgend einfachheitshalber als Abgaslaufzeit bezeichnet -, so dass die  $\text{NO}_x$ -Regeneration rechtzeitig, das heißt vor dem Auftreten eines Reduktionsmitteldurchbruches, abgebrochen werden kann. Insgesamt ermöglicht das Verfahren damit eine Verminderung der CO- und HC-Emission und eine Minimierung eines für die  $\text{NO}_x$ -Regeneration notwendigen Kraftstoffmeherverbrauchs.

**[0009]** Die Hochrechnung des sauerstoffabhängigen Signals der Messeinrichtung erfolgt gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine und/oder der Abgasanlage. Diese können etwa ein aktuelles, der Verbrennungskraftmaschine zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) und/oder ein Abgasmassenstrom und/oder eine Abgastemperatur und/oder eine Katalysatortemperatur umfassen. Die Genauigkeit der Hochrechnung kann weiterhin dadurch erhöht werden, dass sie unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators erfolgt. Ein solches Verhaltensmodell kann etwa den Verlauf einer Regenerationsrate in Abhängigkeit von dem aktuellen Reduktionsmittelmassenstrom und/oder der Katalysatortemperatur beinhalten. Das Verhaltensmodell kann zudem den während der aktuellen Regeneration gemessenen Signalverlauf berücksichtigen. Eine vorteilhafte Weiterentwicklung des Verfahrens kann ferner erzielt werden, indem das Signal unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells der sauerstoffempfindlichen Messeinrichtung hochgerechnet wird. Dabei kann insbesondere eine Trägheit, also eine Zeitverzögerung, mit der die Messeinrichtung veränderte Abgasbedingungen anzeigt, aber auch eine aktuelle, etwa über einen Innenwiderstand gemessene, Temperatur der Messeinrichtung berücksichtigt werden.

**[0010]** Obwohl es prinzipiell möglich ist, die Abgaslaufzeit als Festwert vorzugeben, ist bevorzugt vorgesehen, diese anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine zu berechnen. Dabei kann auf bekannte Betriebsparameter wie Motorlast, Drehzahl oder Abgastemperatur oder auch andere geeignete Daten zurückgegriffen werden.

**[0011]** Da die Zuverlässigkeit der Hochrechnung des Signalverlaufes unter bestimmten extremen Randbedingungen vermindert sein kann, sieht eine bevorzugte Ausführung des Verfahrens vor, Grenzwerte für verschiedene Betriebsbedingungen der Verbrennungskraftmaschine und/oder der Abgasanlage vorzugeben und die Hochrechnung zu unterdrücken, wenn diese Grenzwerte nicht eingehalten werden. Dabei sind ins-

besondere Grenzwerte für den Abgasmassenstrom und/oder für die Temperatur des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators sinnvoll, da bei zu hohen Abgasmassenströmen oder zu niedrigen Katalysatortemperaturen die Regenerationsraten zu unstetig sind, um mit ausreichender Zuverlässigkeit hochgerechnet werden zu können. Die Signalthochrechnung kann vorteilhafterweise auch dann unterdrückt werden, wenn betriebspunktabhängige Störeinflüsse vorliegen, die eine irreguläre  $\text{NO}_x$ -Regeneration beeinflussen. Dies ist beispielsweise bei einer Schubabschaltung der Verbrennungskraftmaschine der Fall.

**[0012]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt die Hochrechnung nicht während der gesamten Regenerationsdauer des Speicherkatalysators, sondern erst nach Verstreichen einer vorgegebenen Zeit nach Beginn der Regeneration und/oder nach Durchsatz einer vorgegebenen Abgasmasse und/oder nach Überschreiten einer vorgegebenen Mindestschwelle des Signals der Messeinrichtung. Durch diese Maßnahmen wird gewährleistet, dass der Signalverlauf bereits über eine gewisse Mindestdauer bekannt ist und somit zuverlässiger extrapoliert werden kann. Nach Beginn der Hochrechnung sollte der Signalverlauf weiterhin verfolgt werden, so dass die Hochrechnung ständig aktualisiert werden kann.

**[0013]** Ein weiteres erfindungsgemäßes Verfahren sieht vor, dass

(a) während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal der stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators angeordneten Messeinrichtung hochgerechnet wird und

(b) ein der Verbrennungskraftmaschine während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal unter Berücksichtigung einer im Wesentlichen der Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator entsprechenden Zeitspanne variiert wird.

**[0014]** Die erfindungsgemäße Hochrechnung ermöglicht in diesem Aspekt der Erfindung die Berücksichtigung der Abgaslaufzeit bei der Veränderung des Verbrennungslambdas während der Regeneration, so dass auf eine zu erwartende Signalthöhe gewissermaßen vorausschauend reagiert werden kann. So ist es beispielsweise möglich, das Verbrennungslambda anzuheben, bevor ein durch die Hochrechnung prognostizierter, unerwünschter Reduktionsmitteldurchbruch auftritt, und diesen letztlich durch diese Maßnahme zu verringern oder sogar vollständig zu unterdrücken. Insgesamt ermöglicht das Verfahren damit eine Verminderung der CO- und HC-Emission und eine Minimierung eines für die  $\text{NO}_x$ -Regeneration notwendigen Kraftstoffmeherverbrauchs.

[0015] Die genannten Vorteile ergeben sich in noch stärkerem Ausmaß durch ein weiteres erfindungsgemäßes Verfahren, das im Wesentlichen eine Kombination der beiden erstgenannten Verfahren darstellt und nach welchem

(a) während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal der Messeinrichtung hochgerechnet wird,

(b) auf Basis des hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt bestimmt wird, an dem ein vorgegebener erster Schwellenwert überschritten wird, und

(c) ein der Verbrennungskraftmaschine während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal und/oder dem Zeitpunkt unter Berücksichtigung einer im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator entsprechenden Zeitspanne variiert wird, wobei insbesondere das Regenerationsende bestimmt wird, indem die im Wesentlichen der Abgaslaufzeit entsprechende Zeitspanne von dem theoretischen Zeitpunkt subtrahiert wird.

[0016] Zusätzlich zu den Maßnahmen des vorausgenannten Verfahrens wird demnach das (theoretische) Erreichen des für einen Regenerationsabbruch vorgegebenen Schwellenwertes im Voraus ermittelt. Somit kann die Regeneration rechtzeitig, das heißt vor dem Auftreten eines Reduktionsmitteldurchbruches, abgebrochen werden.

[0017] Nach einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Verfahren wird das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine dem Regenerationsende vorausgehend auf einen Wert nahe  $\lambda = 1$  angehoben, wobei dieser Wert größer, das heißt magerer, als ein vorausgegangener Lambda wert und gleichzeitig  $< \text{oder} = 1$  ist. Erfindungsgemäß ergeben sich mehrere Alternativen, um einen Zeitpunkt dieser Anhebung zu bestimmen. Beispielsweise kann die Anhebung nach Ablauf eines vorgebbaren Anteils einer durch die Hochrechnung ermittelten Regenerationsgesamtdauer erfolgen. Noch vorteilhafter ist es, das Verbrennungslambda bei Erreichen eines zweiten vorgegebenen Signalschwellenwertes durch das hochgerechnete Sensorsignal unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit anzuheben, wobei der zweite Schwellenwert sinnvollerweise kleiner ist als der erste Schwellenwert, sofern es sich um eine Sondenspannung handelt. Die Anhebung des Verbrennungslambdas vor dem Regenerationsende bewirkt eine Verminderung eines Reduktionsmittelmassenstroms zu einem Zeitpunkt, an dem nur noch geringe Mengen eingelagerter Stickoxide im Speicherkatalysator zur Konvertierung der Reduktionsmittel zur Verfügung stehen. Durch diese Maßnahme

wird somit die Gefahr eines Reduktionsmitteldurchbruchs am Ende der Regeneration zusätzlich vermindert. Dabei hat es sich besonders bewährt, das Verbrennungslambda auf Lambdawerte von 0,94 bis 0,99, insbesondere auf 0,95 bis 0,98, anzuheben.

[0018] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine so lange unterhalb eines vorausgegebenen Lambdawertes abgesenkt, bis das hochgerechnete Sensorsignal unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit einen dritten vorgegebenen Signalschwellenwert erreicht. In diesem Zusammenhang haben sich Verbrennungslambdawerte von 0,6 bis 0,9, insbesondere von 0,7 bis 0,8, besonders bewährt. Durch diese Ausgestaltung des Verfahrens wird der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator folglich mit einer vergleichsweise sehr fetten Abgasatmosphäre beaufschlagt, solange der Speicher noch einen durch die dritte Signalschwelle markierte Mindestbelastung an Stickoxiden aufweist. Durch diese zumindest zeitweise sehr fette Beaufschlagung des Speicherkatalysators wird eine Effizienz der  $\text{NO}_x$ -Umsetzung erhöht, die Regenerationsdauer verkürzt und letztendlich der für die Regeneration aufzuwendende Kraftstoffmehrerbrauch minimiert.

[0019] Es ist selbstverständlich denkbar, weitere Schwellenwerte vorzugeben, deren Überschreitung durch das hochgerechnete Sensorsignal weitere Variationen des Verbrennungslambdas auslöst. Zusätzliche Schwellenwerte können beispielsweise einen anderweitig ermittelten Alterungszustand des Speicherkatalysators berücksichtigen. Die verschiedenen Anhebungen und/oder Absenkungen des der Verbrennungskraftmaschine zuzuführenden Luft-Kraftstoff-Gemisches können auch stufenweise oder sogar kontinuierlich erfolgen.

[0020] Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen umfassen Mittel, mit denen die geschilderten Verfahrensschritte ausführbar sind. Die Mittel umfassen eine Steuereinheit, in der ein Algorithmus zur Steuerung der Verfahrensschritte in digitaler Form hinterlegt ist. Diese Steuereinheit kann vorteilhaft auch in ein Motorsteuergerät des Fahrzeuges integriert sein.

[0021] Die sauerstoffsensitive Messeinrichtung kann eine stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators angeordnete Lambdasonde, insbesondere eine Breitband- oder eine Sprungantwort-Lambdasonde, sein oder ein  $\text{NO}_x$ -Sensor, der über ein Lambdaausgangssignal verfügt.

[0022] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0023] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine Prinzipdarstellung einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Abgasanlage;

Figur 2 zeitliche Verläufe verschiedener Abgaspara-

meter während einer herkömmlichen  $\text{NO}_x$ -Regeneration;

Figur 3 zeitliche Verläufe verschiedener Abgasparameter während einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration gemäß einer ersten Ausführung der vorliegenden Erfindung; und

Figur 4 zeitliche Verläufe verschiedener Abgasparameter während einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration gemäß einer zweiten Ausführung der vorliegenden Erfindung.

[0024] Der in der Figur 1 dargestellten Verbrennungskraftmaschine 10 ist eine insgesamt mit 12 bezeichnete Abgasanlage zugeordnet. Die Abgasanlage 12 umfasst einen Abgaskanal 14, in dem ein in einer motornahen Position angeordneter Vorkatalysator 16 sowie ein großvolumiger  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 18 angeordnet ist. Neben dem Katalysatorsystem 16, 18 beherbergt der Abgaskanal 14 üblicherweise verschiedene, nicht gezeigte Gas- und/oder Temperatursensoren zur Regelung der Verbrennungskraftmaschine 10. Dargestellt ist hier lediglich eine sauerstoffempfindliche Messeinrichtung 20, die stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 18 angeordnet ist. Die Messeinrichtung 20 kann beispielsweise eine Lambdasonde oder ein  $\text{NO}_x$ -Sensor sein, welcher mit einer Lambdameßfunktion ausgestattet ist. In jedem Fall stellt die Messeinrichtung 20 ein von einem Sauerstoffanteil des Abgases abhängiges Signal  $U_\lambda$  bereit. Dieses Signal  $U_\lambda$  wird an ein Motorsteuergerät 22 übermittelt, in welchem es digitalisiert und weiterverarbeitet wird. Weiter, den Betriebszustand der Verbrennungskraftmaschine 10 betreffende Informationen finden ebenfalls Eingang in das Motorsteuergerät 22. In dem Motorsteuergerät 22 ist eine Steuereinheit 24 integriert, in welcher ein Algorithmus zur Durchführung des Verfahrens zur  $\text{NO}_x$ -Regeneration des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 18 hinterlegt ist. Das Motorsteuergerät 22 und die Steuereinheit 24 sind in der Lage, mindestens einen Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10, insbesondere ein zuzuführendes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda), in Abhängigkeit von dem Signal  $U_\lambda$  der Messeinrichtung in noch zu erläuternder Weise zu beeinflussen.

[0025] Figur 2 zeigt den zeitlichen Verlauf verschiedener Parameter der Verbrennungskraftmaschine 10 sowie der Abgasanlage 12 während einer  $\text{NO}_x$ -Regeneration des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators 18, die nach einem herkömmlichen Verfahren durchgeführt wird. Zunächst befindet sich die Verbrennungskraftmaschine 10 in einem mageren Betriebsmodus, in dem ihr ein sauerstoffreiches Luft-Kraftstoff-Gemisch mit  $\lambda_M \gg 1$  zugeführt wird (Graph 100). In dieser Phase enthält das Abgas einen Überschuss an Stickoxiden  $\text{NO}_x$ , die durch den Vorkatalysator 16 nicht vollständig konvertiert werden können.  $\text{NO}_x$  wird daher in den  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 18 eingelagert, dessen  $\text{NO}_x$ -Beladung dabei

kontinuierlich zunimmt (Graph 102). Anhand eines geeigneten Kriteriums wird zu einem Zeitpunkt  $t_A$  eine  $\text{NO}_x$ -Regenerationsnotwendigkeit erkannt. Dies kann beispielsweise ein, durch die Messeinrichtung 20 detektierter  $\text{NO}_x$ -Durchbruch sein. Infolgedessen wird die Verbrennungskraftmaschine 10 durch Einflussnahme des Motorsteuergerätes 22 in einen fetten Betriebsmodus umgeschaltet mit  $\lambda_F < 1$ . Infolge des nunmehr erhöhten Massenstroms der Reduktionsmittel CO und HC im Abgas wird das im  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator 18 eingelagerte  $\text{NO}_x$  desorbiert und zu Stickstoff reduziert. Eine Abnahme der  $\text{NO}_x$ -Beladung (Graph 102) des Speicherkatalysators 18 ist jedoch erst nach einer gewissen zeitlichen Verzögerung nach Umschaltung der Verbrennungskraftmaschine 10 zu verzeichnen, da zum Zeitpunkt  $t_A$  der Abgaskanal 14 noch mit magerem Abgas gefüllt ist, welches zunächst noch den Speicherkatalysator 18 passieren muss, ehe die Reduktionsmittel diesen erreichen. Der Verlauf der  $\text{NO}_x$ -Regeneration wird währenddessen mit Hilfe des von der Messeinrichtung 20 bereitgestellten Signals  $U_\lambda$  - in der Regel eine Spannung - verfolgt. Die Sonderspannung  $U_\lambda$  (Graph 104) verhält sich umgekehrt proportional zu einer Sauerstoffkonzentration des Abgases stromab des Speicherkatalysators 18. Da mit fortschreitender Regeneration die Reduktionsmittel in immer geringerem Ausmaß verbraucht werden, steigt das Signal  $U_\lambda$  der Messeinrichtung 20 langsam an. Zu einem Zeitpunkt  $t_E$  erreicht das Signal  $U_\lambda$  einen vorgegebenen Schwellenwert  $U_{SE}$ , woraufhin die Verbrennungskraftmaschine 10 im Allgemeinen wieder in einen mageren Betriebsmodus mit  $\lambda_M \gg 1$  umgeschaltet wird. Zum Zeitpunkt des Regenerationsendes  $t_E$  befindet sich jedoch noch Abgas mit einem hohen Reduktionsmittelanteil in dem Abgaskanal 14 zwischen der Verbrennungskraftmaschine 10 und dem Speicherkatalysator 18. Dieses durchströmt den nunmehr praktisch  $\text{NO}_x$ -freien Speicherkatalysator 18 und gelangt unkonvertiert in die Umwelt. Der Verlauf der stromab des Katalysators gemessenen Konzentration von Kohlenmonoxid CO und unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC (Graph 106) zeigt daher nach Regenerationsende  $t_E$  noch einen unerwünscht hohen Anstieg.

[0026] Um die Emission von Schadstoffen zu verringern, wird gemäß der vorliegenden Erfindung ein anderer Ansatz verfolgt, um das Regenerationsende  $t_E$  zu bestimmen. Der zeitliche Verlauf der gleichen Parameter wie in Figur 2 ist in Figur 3 dargestellt - diesmal während einer Regeneration gemäß einer ersten typischen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Nach Beginn der Regeneration zum Zeitpunkt  $t_A$  durch Umschaltung der Verbrennungskraftmaschine 10 von einem mageren Betriebsmodus mit  $\lambda_M \gg 1$  in einen fetten Modus mit  $\lambda_F < 1$  wird zunächst das Signal  $U_\lambda$  der Messeinrichtung 20 (Graph 104) in bekannter Weise gemessen und aufgezeichnet. Nach Verstreichen einer vorgegebenen Zeitspanne beginnt die Steuereinheit 24 zu einem Zeitpunkt  $t_{AH}$  mit einer Hochrechnung des Si-

gnals  $U_\lambda$ . Dies geschieht auf Basis des bislang gemessenen Verlaufs von  $U_\lambda$  und anhand verschiedener Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10 sowie der Abgasanlage 12. Ferner können Verhaltensmodelle des Speicherkatalysators 18 sowie der Messeinrichtung 20 bei der Hochrechnung berücksichtigt werden. Auf Basis des hochgerechneten Signalverlaufes wird ein Zeitpunkt  $t_S$  bestimmt, an dem der vorgegebene Signalschwellenwert  $U_{SE}$  theoretisch erreicht wird.

[0027] Anhand ausgewählter Betriebsparameter berechnet die Steuereinheit 24 ferner eine Zeitspanne  $\Delta t$ , die der aktuellen Abgaslaufzeit, die das Abgas bis zum Erreichen des Speicherkatalysators benötigt, entspricht. Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird dann der Zeitpunkt des tatsächlichen Regenerationsendes  $t_E$  durch Subtraktion der Abgaslaufzeit  $\Delta t$  von dem Zeitpunkt  $t_S$  bestimmt. Während des Zeitraumes  $T_H$  wird anhand aktueller Betriebsparameter und anhand des tatsächlichen Signalverlaufes  $U_\lambda$  die Hochrechnung und damit das Regenerationsende  $t_E$  ständig aktualisiert. Ist das so bestimmte Regenerationsende  $t_E$  erreicht, wird die Verbrennungskraftmaschine 10 wieder in den mageren Betriebsmodus mit  $\lambda_M$  umgeschaltet. Zu diesem Zeitpunkt liegt in dem Speicherkatalysator 18 noch eine geringe Menge eingelagertes  $NO_x$  vor (Graph 102), welches ausreicht, um die restlichen, im Abgas enthaltenen Reduktionsmittel zu konvertieren. Folglich werden stromab des Speicherkatalysators 18 nach dem Regenerationsende  $t_E$  nur noch sehr geringe Anteile an Schadstoffen gemessen (Graph 106).

[0028] Die zeitlichen Verläufe der Parameter gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem ein vorgegebenes Verbrennungslambda unter Berücksichtigung des hochgerechneten Sensorsignals  $U_\lambda$  und der Abgaslaufzeit variiert wird, zeigt Figur 4. Dabei erfolgt die Hochrechnung des Sensorsignals  $U_\lambda$  (Graph 104) sowie die Ermittlung der Abgaslaufzeit  $\Delta t$  analog zu der im Rahmen von Figur 3 erläuterten Vorgehensweise.

[0029] Unmittelbar nach Beginn der Hochrechnung des Sensorsignals  $U_\lambda$  zum Zeitpunkt  $t_{AH}$  wird zunächst überprüft, ob zum aktuellen Zeitpunkt und nach Ablauf der ermittelten Abgaslaufzeit  $\Delta t$  das hochgerechnete Sensorsignal  $U_\lambda$  sich noch unterhalb eines vorgegebenen ersten Schwellenwertes  $U_{S1}$  befindet. Nur bei Bejahung dieser Überprüfung kann - wie im dargestellten Beispiel - ein der Verbrennungskraftmaschine 10 zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch auf einen von einem anfänglich eingestellten Lambdawert  $\lambda_{F1}$  abweichenden Lambdawert  $\lambda_{F2}$  geändert werden. (Graph 100). Bei Absenkung des Lambdawertes auf einen gegenüber dem Lambdawert  $\lambda_{F1}$  niedrigeren Lambdawert  $\lambda_{F2}$  steigt der Reduktionsmittelmassenstrom des Abgases weiter an und damit die Regenerationsrate, was sich in einem steileren Abfall der  $NO_x$ -Beladung des Speicherkatalysators 18 niederschlägt (Graph 102).  $\lambda_{F2}$  wird so lange beibehalten, bis das hochgerechnete Signal  $U_\lambda$  unter Berücksichtigung von  $\Delta t$  den Schwellenwert  $U_{S1}$  er-

reicht. Dies ist zum Zeitpunkt  $t_1$  der Fall, an dem das Verbrennungslambda wieder auf einen weniger fetten Lambdawert  $\lambda_{F3}$  angehoben wird (Graph 100).

[0030] Kurze Zeit später erreicht im vorliegenden Beispiel das hochgerechnete Sensorsignal  $U_\lambda$  einen zweiten, aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellten Signalschwellenwert  $U_{S2}$ , der zwischen  $U_{S1}$  und  $U_{SE}$  angesiedelt ist. Das Erreichen des Signalschwellenwertes  $U_{S2}$  signalisiert, dass die  $NO_x$ -Beladung des Speicherkatalysators 18 nahezu erschöpft ist. Um einen drohenden Schadstoffdurchbruch durch das fette Abgas zu vermeiden, wird das Verbrennungslambda weiter auf einen Wert von  $\lambda_{F4}$  nahe 1 angehoben.  $\lambda_{F4}$  trägt dann typischerweise 0,95 bis 0,98.

[0031] Auf Basis des hochgerechneten Signalverlaufes wird ferner gemäß dem in Figur 3 dargestellten Verfahren der Zeitpunkt  $t_S$  bestimmt, an dem der vorgegebene Signalschwellenwert  $U_{SE}$  theoretisch erreicht wird. Durch Subtraktion der Abgaslaufzeit  $\Delta t$  von dem Zeitpunkt  $t_S$  wird dann der Zeitpunkt des (tatsächlichen) Regenerationsendes  $t_E$  bestimmt. Ist das so bestimmte Regenerationsende  $t_E$  erreicht, wird die Verbrennungskraftmaschine 10 wieder in den mageren Betriebsmodus mit  $\lambda_M$  umgeschaltet, um den Schadstoffdurchbruch (Graph 106) zu verhindern. Die zu diesem Zeitpunkt noch im Speicherkatalysator 18 vorliegende geringe Menge  $NO_x$  (Graph 102) sorgt für die weitgehende Umsetzung des geringen noch im Abgas enthaltenen Reduktionsmittelteils.

[0032] Der Vergleich der durch die Graphen 106 in den Figuren 2 und 4 symbolisierten Konzentrationen von Kohlenmonoxid CO und unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC stromab des  $NO_x$ -Speicherkatalysators 18 zeigt eine starke Verringerung der regenerationsbedingten Schadstoffemission. Es wird aber auch deutlich, dass bei geeigneter Wahl der Lambdawerte  $\lambda_{F1}$  bis  $\lambda_{F4}$  durch das erfindungsgemäße Verfahren die Gesamtdauer der  $NO_x$ -Regeneration reduziert werden kann, wodurch sich eine Minimierung des für die Regeneration notwendigen Kraftstoffmeherverbrauches ergibt.

## BEZUGSZEICHENLISTE

[0033]

- 10 Verbrennungskraftmaschine
- 12 Abgasanlage
- 14 Abgaskanal
- 16 Vorkatalysator
- 18  $NO_x$ -Speicherkatalysator
- 20 sauerstoffempfindliche Messeinrichtung
- 22 Motorsteuergerät
- 24 Steuereinheit
- 100 Verbrennungslambda
- 102  $NO_x$ -Beladung des  $NO_x$ -Speicherkatalysators
- 104 Signalverlauf ( $U_\lambda$ ) der Messeinrichtung
- 106 Reduktionsmittelgehalt im Abgas

$t_A$	Regenerationsbeginn
$t_E$	Regenerationsende
$t_S$	Zeitpunkt der Überschreitung von $U_{SE}$
$t_{AH}$	Hochrechnungsbeginn
$T_H$	Hochrechnungsdauer
$\Delta t$	Abgaslaufzeit
$U_\lambda$	Signal der Messeinrichtung
$U_{SE}$	Schwellenwert zur Beendigung der $NO_x$ -Regeneration
$U_{Si}$	Schwellenwerte zur Anhebung oder Absenkung des Verbrennungslambdas
$\lambda_M$	Lambdamagerwert
$\lambda_F$	Lambdafettwert

(a) während der  $NO_x$ -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) der Messeinrichtung (20) hochgerechnet wird und

(b) ein der Verbrennungskraftmaschine (10) während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung einer im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und  $NO_x$ -Speicherkatalysator (18) entsprechenden Zeitspanne ( $\Delta t$ ) variiert wird.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur  $NO_x$ -Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten  $NO_x$ -Speicherkatalysators (18), wobei der  $NO_x$ -Speicherkatalysator (18) bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\lambda \leq 1$  beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des  $NO_x$ -Speicherkatalysators (18) angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**

(a) während der  $NO_x$ -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) der Messeinrichtung (20) hochgerechnet wird,

(b) auf Basis des hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt ( $t_S$ ) bestimmt wird, an dem ein vorgegebener Signalschwellenwert ( $U_{SE}$ ) überschritten wird, und

(c) das Regenerationsende ( $t_E$ ) bestimmt wird, indem eine im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und  $NO_x$ -Speicherkatalysator (18) entsprechende Zeitspanne ( $\Delta t$ ) von dem theoretischen Zeitpunkt ( $t_S$ ) subtrahiert wird.

2. Verfahren zur  $NO_x$ -Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten  $NO_x$ -Speicherkatalysators (18), wobei der  $NO_x$ -Speicherkatalysator (18) bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\lambda \leq 1$  beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des  $NO_x$ -Speicherkatalysators (18) angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**

3. Verfahren zur  $NO_x$ -Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten  $NO_x$ -Speicherkatalysators (18), wobei der  $NO_x$ -Speicherkatalysator (18) bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\lambda \leq 1$  beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des  $NO_x$ -Speicherkatalysators (18) angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**

(a) während der  $NO_x$ -Regeneration das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) der Messeinrichtung (20) hochgerechnet wird,

(b) auf Basis des hochgerechneten Signals ein theoretischer Zeitpunkt ( $t_S$ ) bestimmt wird, an dem ein vorgegebener erster Signalschwellenwert ( $U_{SE}$ ) überschritten wird, und

(c) ein der Verbrennungskraftmaschine (10) während der Regeneration zugeführtes Luft-Kraftstoff-Gemisch (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal ( $U_\lambda$ ) und/oder dem Zeitpunkt ( $t_S$ ) unter Berücksichtigung einer im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und  $NO_x$ -Speicherkatalysator (18) entsprechenden Zeitspanne ( $\Delta t$ ) variiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Regenerationsende ( $t_E$ ) bestimmt wird, indem die im Wesentlichen der Abgaslaufzeit entsprechende Zeitspanne ( $\Delta t$ ) insbesondere durch Subtraktion berücksichtigt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine (10) und/oder der Abgasanlage (12) hochgerechnet wird.



6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) in Abhängigkeit eines der Verbrennungskraftmaschine (10) zugeführten Luft-Kraftstoff-Gemisches und/oder eines Abgasmassenstromes und/oder einer Abgastemperatur und/oder einer Katalysatortemperatur hochgerechnet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators (18) hochgerechnet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das sauerstoffabhängige Signal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung eines Verhaltensmodells der sauerstoffempfindlichen Messeinrichtung (20), insbesondere einer Trägheit der Messeinrichtung (20), hochgerechnet wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hochrechnung nach einem Verstreichen einer vorgegebenen Zeit nach Beginn der Regeneration und/oder nach Durchsatz einer vorgegebenen Abgasmasse und/oder nach Überschreiten einer vorgegebenen Schwelle des Signals ( $U_\lambda$ ) beginnt.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abgaslaufzeit ( $\Delta t$ ) anhand aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine (10) berechnet wird oder vorgegeben wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hochrechnung des Signals ( $U_\lambda$ ) unterbleibt, wenn vorgegebene Grenzwerte für Betriebsbedingungen der Verbrennungskraftmaschine (10) und/oder der Abgasanlage (12) nicht eingehalten werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass Grenzwerte für den Abgasmassenstrom und/oder für die Temperatur des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators (18) vorgegeben werden.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hochrechnung des Signals ( $U_\lambda$ ) bei einer Schubabschaltung während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration unterbleibt.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbrennungslambda bei Erreichen eines zweiten vorgegebenen Signalschwellenwertes ( $U_{S2}$ ) durch das hochgerechnete Sensorsignal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit ( $\Delta t$ ) oder nach Ablauf eines vorgebbaren Anteils einer durch die Hochrechnung ermittelten Regenerationsdauer angehoben wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine (10) dem Regenerationsende ( $t_E$ ) vorausgehend auf einen Wert ( $\lambda_{F4}$ ) angehoben wird, der größer als ein vorausgegangener Verbrennungslambda wert und  $\leq 1$  ist.
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbrennungslambda auf  $\lambda_{F4} = 0,94$  bis  $0,99$ , insbesondere auf  $0,95$  bis  $0,98$ , angehoben wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbrennungslambda der Verbrennungskraftmaschine (10) so lange auf einen Wert ( $\lambda_{F2}$ ) unterhalb eines vorausgegangenen Lambdawertes ( $\lambda_{F1}$ ) abgesenkt wird, bis das hochgerechnete Sensorsignal ( $U_\lambda$ ) unter Berücksichtigung der Abgaslaufzeit ( $\Delta t$ ) einen dritten vorgegebenen Signalschwellenwert ( $U_{S1}$ ) erreicht.
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbrennungslambda auf  $\lambda_{F2} = 0,6$  bis  $0,9$ , insbesondere auf  $0,7$  bis  $0,8$ , abgesenkt wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anhebung und/oder Absenkung des Verbrennungslambdas stufenweise erfolgt.
20. Vorrichtung zur Durchführung einer Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators (18), wobei der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator (18) bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\lambda \leq 1$  beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators (18) angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, **gekennzeichnet durch** Mittel, mit denen die Verfahrensschritte
- (a) Hochrechnung des sauerstoffabhängigen Signals ( $U_\lambda$ ) der Messeinrichtung (20) während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration,
- (b) Bestimmung eines theoretischen Zeitpunktes ( $t_E$ ) auf Basis des hochgerechneten Signals, an dem ein vorgegebener Signalschwellenwert ( $U_{SE}$ ) überschritten wird, und

(b) Bestimmung des Regenerationsendes ( $t_E$ ), indem eine im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator (18) entsprechende Zeitspanne ( $\Delta t$ ) von dem theoretischen Zeitpunkt ( $t_S$ ) subtrahiert wird, ausführbar sind.

5

21. Vorrichtung zur Durchführung einer Regeneration eines in einem Abgaskanal einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine (10) angeordneten  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators (18), wobei der  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator (18) bis zum Erreichen eines Regenerationsendes mit einer fetten bis stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\lambda \leq 1$  beaufschlagt wird und ein Regenerationsverlauf anhand eines durch eine stromab des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators (18) angeordnete sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) bereitgestellten sauerstoffabhängigen Signals verfolgt wird, **gekennzeichnet durch** Mittel, mit denen die Verfahrensschritte

10

15

20

(a) Hochrechnung des sauerstoffabhängigen Signals ( $U_A$ ) der Messeinrichtung (20) während der  $\text{NO}_x$ -Regeneration und

25

(b) Varierung eines der Verbrennungskraftmaschine (10) während der Regeneration zugeführten Luft-Kraftstoff-Gemisches (Verbrennungslambda) in Abhängigkeit von dem hochgerechneten Signal ( $U_A$ ) unter Berücksichtigung einer im Wesentlichen einer Abgaslaufzeit zwischen Verbrennungskraftmaschine (10) und  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator (18) entsprechenden Zeitspanne ( $\Delta t$ )

30

35

ausführbar sind.

22. Vorrichtung nach Anspruch 20 oder 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel eine Steuereinheit (24) umfassen, in der ein Algorithmus zur Steuerung der Verfahrensschritte in digitaler Form hinterlegt ist.

40

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit (24) in ein Motorsteuergerät (22) integriert ist.

45

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** die sauerstoffsensitive Messeinrichtung (20) eine Breitband- oder Sprungantwort-Lambdasonde oder einen  $\text{NO}_x$ -Sensor umfasst.

50

55

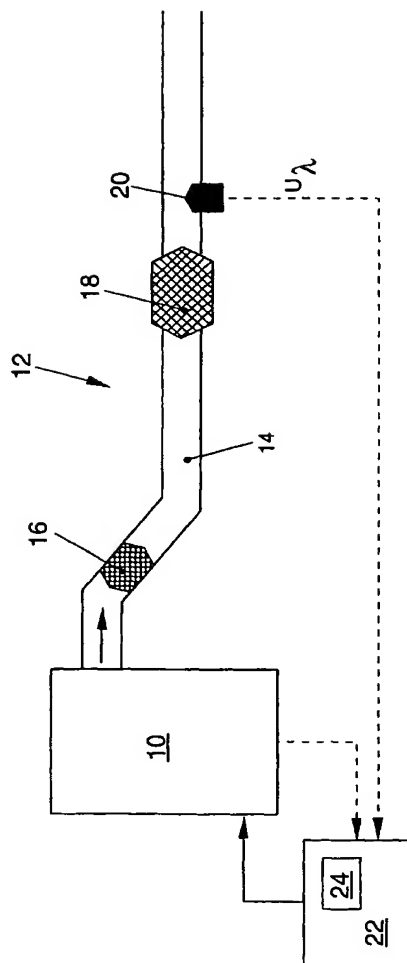
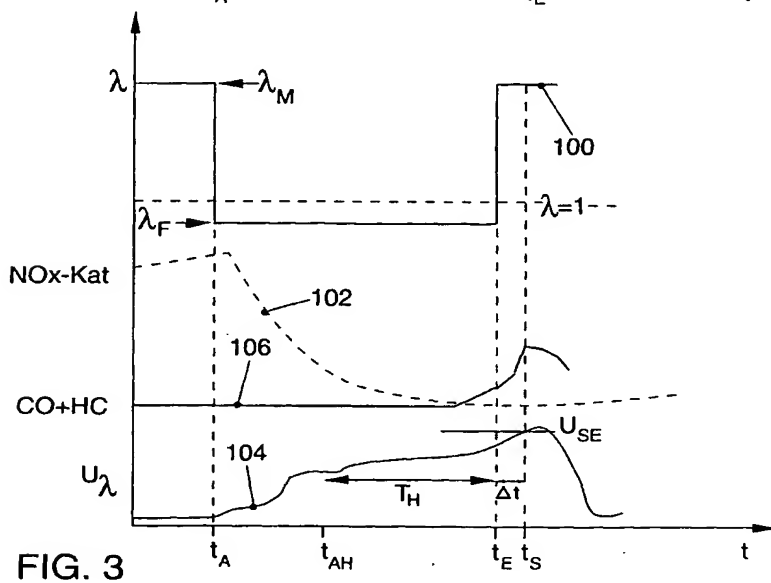
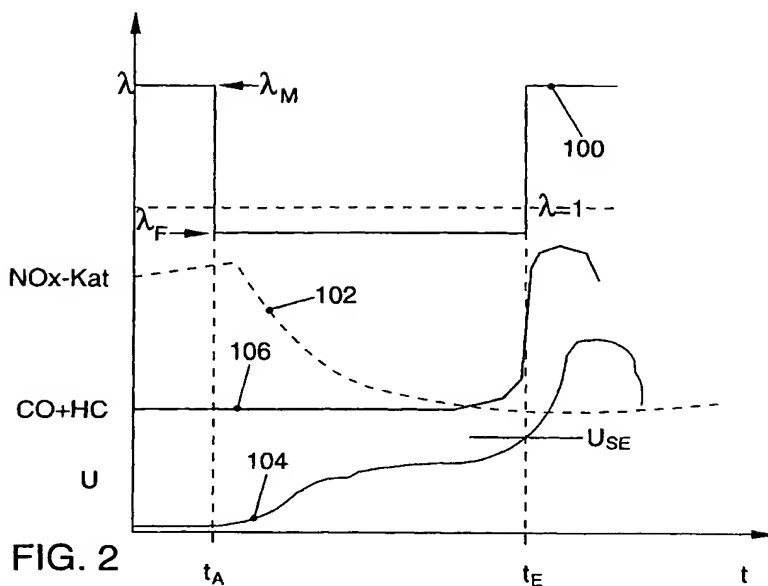


FIG. 1



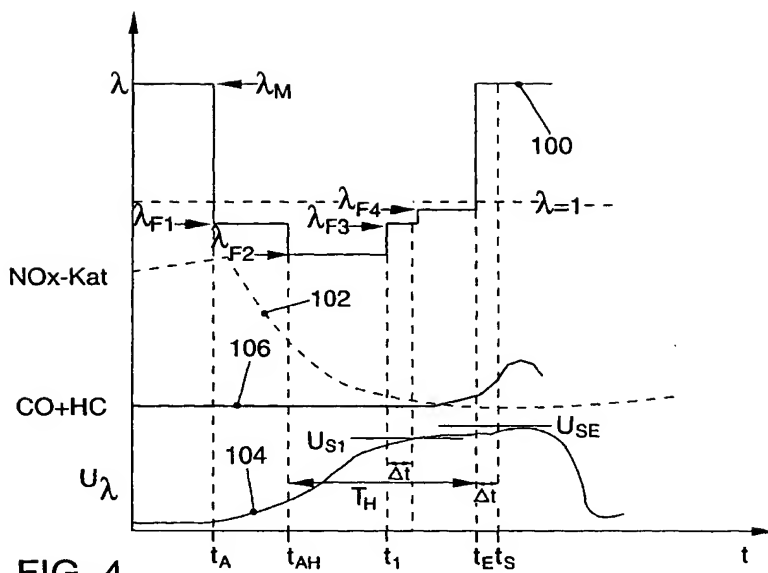


FIG. 4